蒸煮酶解羽毛粉的营养价值及其在肉鸭上的能量和氨基酸利用率评定[1]

赖安强[1,2] 董国忠[1*] 苏 宁[2] 宋代军[1] 陶 礼[2] 刘宏伟[2] 付雪梅[2] 陈 洁[2]

（1.西南大学动物科技学院，重庆 400716；2.四川巨星企业集团有限公司，成都 610021）

摘 要：本试验旨在研究采用真代谢能（TME）法评定3种蒸煮酶解羽毛粉对于肉鸭的能量和氨基酸营养价值，为合理开发和利用羽毛粉蛋白质资源提供基础数据。3种羽毛粉（Ⅰ~Ⅲ）分别为42日龄樱桃谷肉鸭羽毛粉、550日龄罗曼蛋鸡羽毛粉和100日龄三黄肉鸡羽毛粉。试验选取20只7周龄樱桃谷肉鸭，随机分为4个处理，每个处理5个重复，每个重复1只肉鸭，单笼饲养。处理1（T1）为测定羽毛粉Ⅰ，处理2（T2）为测定羽毛粉Ⅱ，处理3（T3）为测定羽毛粉Ⅲ，处理4（T4）为饥饿处理。试验期为7 d。结果表明：1）以干物质（DM）为基础，3种羽毛粉的总能（GE）分别为21.31、21.02和20.18 MJ/kg，表观代谢能（AME）分别为13.71、12.29和12.10 kJ/kg，TME分别为14.83、13.42和13.22 MJ/kg。2）以DM为基础，3种羽毛粉的粗蛋白质（CP）含量分别为91.05%、87.31%和91.06%；3种羽毛粉的总氨基酸（TAA）含量都在80%以上，但不同羽毛粉的氨基酸含量差异较大。3）3种羽毛粉的TAA表观可代谢率为别为81.51%、73.07%和76.85%，TAA真可代谢率分别为85.09%、76.89%和80.43%。3种羽毛粉的表观可利用氨基酸和真可利用氨基酸含量也存在显著差异（$P<0.05$）。由此可见，利用TME法测定

收稿日期：2015-11-25

基金项目：重庆市科委社会民主项目（CSTC2015SHMSZX80014)

作者简介：赖安强(1983-)，男，四川双流人，博士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： laq3521@126.com

*通信作者：董国忠，教授，博士生导师，E-mail： gzdong@swu.edu.cn

毛粉能量与氨基酸的营养价值，发现3种羽毛粉的代谢能（ME）、表观可利用氨基酸和真可利用氨基酸存在明显差异。羽毛粉Ⅰ的GE、ME、CP及TAA代谢率均高于羽毛粉Ⅱ和羽毛粉III。

关键词：羽毛粉；粗蛋白质；代谢能；氨基酸

中图分类号：S816.4

羽毛占成年家禽体重的5%~7%，羽毛中蛋白质含量高，是一种很有开发前途的动物性蛋白质资源[1]。有研究发现，在蛋鸡饲粮上添加5%的羽毛粉能够部分替代豆粕，改善蛋鸡的料蛋比[2]，也有学者发现，酶解或水解羽毛粉在生长肥育猪上能够部分替代鱼粉或豆粕，但其替代比例一般不超过8%[1,3]；另一些在肥育猪上的研究表明，添加9.765%的羽毛粉替代豆粕时需要补充晶体氨基酸，否则猪的生产性能受到影响[4]。由此可见，不同的羽毛粉营养价值可能差异较大，同时羽毛粉的氨基酸可能不平衡。尽管羽毛中蛋白质含量高达90%（主要是角质蛋白），但不经过处理的角质蛋白消化利用率低，限制了羽毛的利用[5]。未降解处理的羽毛营养价值很低，而在一定条件下水解加工后的羽毛粉，其蛋白质消化率显著提高[6]，添加微生物蛋白酶也能够提高羽毛粉蛋白质的消化率[5]。

羽毛粉主要是由消化率较低的角质蛋白组成[5]。羽毛来源不同，其角质化程度和羽毛种类可能不同，这导致羽毛粉的营养价值差异较大。自真代谢能（TME）法由Sibbald[7]提出后就以快速、简便和准确的优点而受到广泛关注和应用。TME法通常用于鸡饲料营养价值评定，也能用于肉鸭[8]。因此，本文通过分析蒸煮酶解羽毛粉的常规成分、测定挥发性盐基氮（VBN）含量和利用体外胃蛋白酶水解法测定羽毛粉的蛋白质体外消化率，并在樱桃谷鸭上，利用TME法测定羽毛粉能量与氨基酸的营养价值，为合理开发和利用蛋白质饲料资源提供试验依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

羽毛粉生产工艺：将羽毛洗净晒干后，采用批量高压蒸煮加工法，加工设备为卧式蒸煮器（直径为800 mm，长度为3 000 mm），加工温度为135 ℃，压力0.4 MPa，pH为7，蒸煮水解时间为30 min，待反应液温度降低到70 ℃，再添加酶活为50 000 IU/g的蛋白酶1 kg水解15 min（蛋白酶购于辽宁华星生物科技有限公司），蒸汽烘干，粉碎过40目筛。羽毛粉Ⅰ：羽毛来源为42日龄樱桃谷肉鸭羽毛，蒸煮酶解所得，即肉鸭羽毛粉。羽毛粉Ⅱ：羽毛来源于550日龄罗曼粉蛋鸡羽毛，蒸煮酶解所得，即蛋鸡羽毛粉。羽毛粉III：羽毛来源于100日龄三黄肉鸡羽毛，蒸煮酶解所得，即三黄肉鸡羽毛粉。

1.2　试验动物的选择和饲养管理

试验选取健康体况良好、体重为（3.26±0.3） kg的7周龄樱桃谷（SM3）公鸭20只，随机分为4个处理，每个处理5个重复，每个重复1只肉鸭，单笼饲养。处理1（T1）为测定羽毛粉Ⅰ，处理2（T2）为测定羽毛粉Ⅱ，处理3（T3）为测定羽毛粉III，处理4（T4）为饥饿处理，用以测定内源损耗。试验采用TME法测定蒸煮酶解羽毛粉能量代谢率及氨基酸代谢率。剪净肉鸭肛门周围的羽毛，并缝合带洞的塑料瓶盖，准备好相应收集排泄物的塑料瓶盖及塑料袋，采用全收粪法收集粪样。

1.3　样品的收集和制备

代谢试验在四川巨星集团乐山试验基地进行。除绝食组外，试验组的每只鸭强饲60 g 羽毛粉。鸭饲料代谢过程参照 Sibbald[7]TME 法进行，具体过程包括：适应期 72 h，饲喂玉米-豆粕型饲粮[代谢能（ME）12.55 MJ/kg，粗蛋白质（CP）含量 16.21%，四川巨星企业集团有限公司生产]；预试期 24 h，饲喂待测饲粮；禁饲排空 36 h，后强饲待测饲粮 60 g（表 1）。试验期内，每天收集 3 次粪样，每次粪样称重，按 100 g 鲜样加入 5 mL 5%的盐酸，置于-20 ℃冰柜保存，待粪样收集完成后，将 36 h 内收集的样品解冻混合均匀，置于烘箱内，65 ℃烘箱内烘干，回潮 24 h 后称重并粉碎过 40 目筛，粉

碎后用四分法制样品，保存于样品袋中待测。

表 1　代谢试验操作规程

Table 1　The procedure of metabolic test

项目 Items	预试期 Pre-trial period (3 d)	正试期 Trial period		
		禁食排空 Fasting period （36 h）	强饲期 Force-feeding period （1~10 min）	收集期 Colletion period （36 h）
强饲组 Force-feeding groups	饲喂玉米-豆粕型饲粮	饥饿	强饲羽毛粉	收集排泄物
绝食组 Fasting group	饲喂玉米-豆粕型饲粮	饥饿	收集 36 h 内源排泄物	

1.4　测定指标及计算方法

1.4.1　测定指标

饲粮指标测定：干物质（DM）、CP、粗脂肪（EE）、粗灰分（ash）、钙（Ca）和磷（P）含量的测定参照张丽英[9]的方法，氨基酸含量测定参照 GB/T 18246-2000，总能（GE）采用氧氮式测热仪测定，胃蛋白酶消化率测定参照 GB/T 17811-1999，VBN 含量测定参照 GB/T 19164-2003。

排泄物样品测定：DM 和 CP 含量测定参照张丽英[9]的方法；氨基酸含量测定参照 GB/T 18246-2000，GE 采用氧氮式测热仪测定。

1.4.2　计算方法

氨基酸代谢率计算公式如下：

氨基酸表观代谢率（%）=[(食入氨基酸−排泄物中氨基酸)/食入氨基酸]×100；

氨基酸真代谢率（%）=[(食入氨基酸−排泄物中氨基酸+内源氨基酸)/食入氨基酸]×100；

表观可代谢氨基酸含量（%）=氨基酸含量×氨基酸表观代谢率；

真可代谢氨基酸含量（%）=氨基酸含量×氨基酸真代谢率。

能量代谢率计算公式如下：

能量表观代谢率（%）=[(食入总能−粪能−尿能)/食入总能]×100；

能量真代谢率（%）=[(食入总能-粪能−尿能+内源代谢能)/总能]×100；

表观代谢能（MJ/kg）=(食入总能-粪能−尿能)/食入的 DM；

真代谢能（MJ/kg）=(食入总能−粪能−尿能+内源代谢能)/食入的 DM。

1.5　数据处理

数据采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析，Duncan 氏法多重比较检验，以 P<0.05 为差异显著，P>0.05 为差异不显著，P<0.01 为差异极显著。结果采用“平均值±标准误”表示。

2　结　果

2.1　羽毛粉的营养水平及体外蛋白酶消化率

2.1.1　羽毛粉的 GE、常规成分、VBN 和胃蛋白酶消化率

由表 2 可知，羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 DM 含量分别为 91.17%、89.80%和 92.47%；以 DM 为基础，CP 含量分别为 91.05%、87.31%和 91.06%；GE 分别为 21.31、21.02 和 20.18 MJ/kg；VBN 的含量分别为 984.2、1 153.5 和 1 137.2 mg/kg；胃蛋白酶消化率分别为 88.64%、78.95%和 81.54%。

表 2　羽毛粉的营养水平及胃蛋白酶消化率（DM 基础）

Table 2　Composition levels and the pepsin digestibility of feather meal (DM basis)　　%

项目 Items	羽毛粉Ⅰ Feather meal Ⅰ	羽毛粉Ⅱ Feather meal Ⅱ	羽毛粉Ⅲ Feather meal Ⅲ
干物质 DM/%	91.17	89.80	92.47
粗蛋白质 CP/%	91.05	87.31	91.06
总能 GE/(MJ/kg)	21.31	21.02	20.18
粗灰分 Ash/%	4.70	6.27	7.35
粗脂肪 EE/%	4.25	5.71	0.99
钙 Ca/%	1.12	1.17	1.86
总磷 TP/%	0.24	0.27	0.21
挥发性盐基氮 VBN/(mg/kg)	984.2	1 153.5	1 137.2
胃蛋白酶消化率 Pepsin digestibility/%	88.64	78.95	81.54

2.2 羽毛粉的能量代谢率及 ME

从表 3 可知，羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 AME 分别为 13.71、12.29 和 12.10 kJ/kg，TME 分别为 14.83、13.42 和 13.22 MJ/kg。羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ之间的能量表观代谢率和真代谢率差异极显著（*P*<0.01），以羽毛粉Ⅰ最高，羽毛粉Ⅱ最低；羽毛粉Ⅰ和Ⅱ及羽毛粉Ⅰ和Ⅲ的 AME 和 TME 差异极显著（*P*<0.01），羽毛粉Ⅱ和Ⅲ的 AME 和 TME 差异显著（*P*<0.05）。

表 3 羽毛粉的能量代谢率和代谢能（DM 基础）

Table 3 Energy metabolism rate and ME of the feather meal (DM basis) %

项目 Items	羽毛粉Ⅰ Feather meal	羽毛粉Ⅱ Feather meal	羽毛粉Ⅲ Feather meal

	I	II	III
表观代谢率 Apparent metabolic rate /%	71.91±0.51^{Aa}	62.29±0.59^{Cc}	66.74±0.41^{Bb}
真代谢率 True metabolic rate/%	77.63±0.56^{Aa}	68.09±0.64^{Cc}	72.78±0.45^{Bb}
表观代谢能 AME/(MJ/kg)	13.71±0.10^{Aa}	12.29±0.12^{Bc}	12.10±0.07^{Bb}
真代谢能 TME/(MJ/kg)	14.83±0.11^{Aa}	13.42±0.13^{Bc}	13.22±0.08^{Bb}

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.3 羽毛粉的氨基酸营养价值

2.3.1 羽毛粉氨基酸组成

用酸水解测定了羽毛粉的氨基酸组成，见表 4。试验结果表明：在 DM 基础上，3 种羽毛粉的氨基酸组成接近但有差异。总氨基酸（TAA）和总必需氨基酸(TEAA)含量为羽毛粉Ⅰ>羽毛粉III>羽毛粉Ⅱ；羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和III的 TAA 含量都超过 80%，但 TEAA 的含量只有 30%左右。丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸和脯氨酸等总非必需氨基酸（TNEAA）的含量较高。TEAA 中胱氨酸、苏氨酸、精氨酸、支链氨基酸（亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸）和苯丙氨酸的含量较高。蛋氨酸和赖氨酸的含量较低，且 3 种羽毛粉的赖氨酸和蛋氨酸的含量差异较大。因此羽毛粉是 TAA 含量较高，而某些必需氨基酸，如赖氨酸和蛋氨酸相对缺乏的一种蛋白质资源。

表 4　羽毛粉的氨基酸含量（DM 基础）

Table 4　Amino acid contents of feather meal（DM basis）　%

项目 Items	羽毛粉 I Feather meal I	羽毛粉 II Feather meal II	羽毛粉III Feather meal III
天门冬氨酸 Asp	6.62	5.57	5.58
酪氨酸 Tyr	4.94	2.76	2.15
丝氨酸 Ser	9.46	10.01	10.92
谷氨酸 Glu	10.03	9.22	9.28
甘氨酸 Gly	8.24	7.46	7.03
丙氨酸 Ala	4.21	4.12	3.93
脯氨酸 Pro	7.63	7.45	8.37
胱氨酸 Cys	2.93	2.07	2.67
总非必需氨基酸 TNEAA	54.06	48.66	49.93
缬氨酸 Val	5.41	5.41	5.81
蛋氨酸 Met	0.80	0.58	0.25
异亮氨酸 Ile	3.66	3.70	4.13
亮氨酸 Leu	7.83	7.39	7.60
苯丙氨酸 Phe	4.10	3.93	4.27
赖氨酸 Lys	2.05	1.35	1.18
苏氨酸 Thr	4.10	3.88	4.07
组氨酸 His	0.80	0.56	0.47
精氨酸 Arg	5.91	5.75	6.05
总必需氨基酸 TEAA	34.67	32.54	33.82

总氨基酸 TAA	88.73	81.19	83.74

2.3.2 羽毛粉氨基酸代谢率

羽毛粉的氨基酸表观代谢率和表观可利用氨基酸见表 5，羽毛粉的氨基酸真代谢率和真可利用氨基酸见表 6。由表 5 和表 6 可知，羽毛粉氨基酸表观代谢率较真消代谢率低。无论是真代谢率还是表观代谢率，羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ之间的 TEAA 或 TAA 的消化率上差异极显著（P<0.01）。羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 TAA 表观代谢率分别为 81.51%、73.07%和 76.85%；羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 TAA 真代谢率分别为 85.09%、76.89%和 80.43%。羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 TEAA 表观代谢率分别为 81.60%、72.98%和 77.40%；羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的 TEAA 真代谢率分别为 85.55%、76.91%和 80.53%。各羽毛粉中亮氨酸的代谢率最高，天冬氨酸的代谢率最低。根据 DM 基础上羽毛粉的氨基酸含量与羽毛粉的氨基酸代谢率，可以计算得到羽毛粉可利用氨基酸含量。羽毛粉Ⅰ的 TAA 表观可利用氨基酸和真可利用氨基酸含量极显著高于羽毛粉II和III（P<0.01）；羽毛粉I的 TEAA 表观可利用氨基酸和真可利用氨基酸极显著高于羽毛粉Ⅱ和III（P<0.01）。

3 讨　论

3.1 不同羽毛粉养分组成特点

由表 2 可知，羽毛粉Ⅰ和III的 CP 含量较为接近，比羽毛粉Ⅱ分别高 4.28%和 4.27%。不同羽毛粉的 DM、ash 和 EE 的含量差异较大，因而 3 种羽毛粉的 GE 也相差较大。羽毛粉III的 ash 含量高、EE 含量低，导致 GE 最低；羽毛粉Ⅰ的 CP、EE 和 DM 含量都比较高，而 ash 含量最低，因而 GE 最高。VBN 是蛋白质分解而产生的氨以及含氮胺类物质，是判定原料新鲜度的指标之一，常用于判定鱼粉蛋白质腐败程度[10]。在鱼粉中 VBN 含量低于 500 mg/kg 表示鲜度优良，高于 1 500 mg/kg 时表示已经开始腐败[11]。羽毛粉属于动物蛋白质，3 种羽毛粉的 VBN 在 500 和 1 500 mg/kg 之间，说明 3 种羽毛粉都未腐败。VBN 含量越高说明新鲜度越差，因此 3 种羽毛粉新鲜度为羽毛粉Ⅰ优于

羽毛粉Ⅱ和Ⅲ，羽毛粉Ⅲ又优于羽毛粉Ⅱ。体外消化率作为评定原料消化率的一种方法，具有快速和简洁的优点。沈银书等[6]研究表明，羽毛粉胃蛋白酶消化率在 70%~85%内，羽毛粉的氨基酸真消化率与胃蛋白酶消化率呈抛物线关系。本试验中羽毛粉Ⅰ的胃蛋白酶消化率不在 70%~85%内，所以不能单从胃蛋白酶消化率直接判定羽毛粉Ⅰ的氨基酸消化率化率，但可以推测羽毛粉Ⅲ氨基酸消化率高于羽毛粉Ⅱ。

3.2 能量代谢率

本试验中 3 种羽毛粉的能量代谢率差异极显著。Han 等[12]在去盲肠和不去盲肠公鸡上测得羽毛粉的氮校正真代谢能（TMEn）分别为 13.10 和 13.47 MJ/kg。Barbour 等[13]在火鸡测得预压处理火鸡羽毛粉、酶处理火鸡羽毛和一般处理火鸡羽毛粉的 TMEn 分别为 13.79、12.93 和 12.99 MJ/kg；3 种羽毛粉的能量代谢率分别为 60.47%、58.10%和 54.73%。而 Dale[14]在蛋公鸡上测得 15 种羽毛粉的 TMEn 差异较大，范围从 12.94~16.72 MJ/kg。蒋守群等[15]在黄羽肉鸡上测得羽毛粉的 AME 为 10.20 MJ/kg，远低于本试验测得 3 种羽毛粉的 AME（13.71、12.29 和 12.10 MJ/kg）。原因可能是由于其研究中羽毛粉的 ash 含量高达 22.16%，从而影响了羽毛粉的 AME。可见不同羽毛粉的 ME 差异较大。

研究表明，可以通过 CP、EE 和 ash 含量推测羽毛粉的 TMEn[16]，Dale[14]在蛋公鸡上测得羽毛粉 TMEn，回归得出 $TMEn$（MJ/kg）=11.97+0.32×EE（R^2=0.821）。此外蒸煮的压力、时间、pH 以及酶处理与否等都影响羽毛粉的利用[6,12,17]。因此为了提高羽毛粉的利用率，本试验加工羽毛粉时采用压力 0.4 MPa，蒸煮时间为 30 min，pH 为 7，再用蛋白酶进行水解处理的加工参数，因而 3 种羽毛粉的能量利用率都较高。尽管 3 种羽毛粉加工条件完全一致，但能量利用率不同。其能量利用率的差异可能是营养成分本身导致。本试验发现，油脂和 CP 含量高、ash 含量低的羽毛粉，其 GE 也高。由于羽毛粉的蛋白质含量超过 80%，CP 的利用率必然影响 GE 的代谢率。Liu 等[18]在 8 周

龄火鸡上研究发现，羽毛粉 TMEn 与羽毛粉氨基酸真利用率呈线性相关。本试验中胃蛋白酶消化率以羽毛粉Ⅰ最高，其能量利用率也最高。所以推测羽毛粉的能量代谢率和 ME 差异主要因 CP 利用率（也即是氨基酸利用率）的不同。尽管羽毛粉III与羽毛粉Ⅱ相比，羽毛粉III的胃蛋白酶消化率更高，但 ME 低于较羽毛粉Ⅱ。这可能是羽毛粉Ⅱ的 EE 含量远高于羽毛粉III，同时羽毛粉的脂肪利用率较高。

3.3　氨基酸代谢率

试验发现，不同种类羽毛粉的氨基酸代谢率上差异极显著，同时其氨基酸含量差异也很大，因此，通过氨基酸代谢率计算得到羽毛粉的可利用氨基酸含量不相同；3 种羽毛粉在总可利用氨基酸含量和总可利用必需用氨基酸含量上差异极显著。Bandegan 等[19]在 8 周龄肉鸡上测得羽毛粉回肠表观代谢率和真代谢率分别为 39%~74%和 42%~78%，远低于本试验结果，可能因鸡和鸭对饲料氨基酸消化率存在明显的差异[20]。在去势公猪[22]和肉鸡[12]上研究表明，不同羽毛粉氨基酸代谢率差异较大，同时加工参数影响羽毛粉的氨基酸代谢率[6]。本试验中 3 种羽毛粉的加工参数都相同，氨基酸代谢率的差异应该是由羽毛营养成分不同所引起，其具体原因不知。但推测肉鸭、蛋鸡和三黄鸡由于生长周期不同，使得肉鸭羽毛、蛋鸡羽毛和三黄肉鸡羽毛的角质化程度不同，进而加工过程中水解程度不同，导致 3 种羽毛粉的氨基酸代谢率不同。可见，在加工参数一定时，角质化程度低的羽毛蒸煮酶解后氨基酸的代谢率高。因此，针对不同的羽毛，可能需要不同的加工参数。

4　结　论

① 在7周龄肉鸭上，以DM为基础，羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和III的GE分别为21.31、21.02和20.18 MJ/kg，AME分别为13.71、12.29和12.11 kJ/kg，TME分别为14.83、13.42和13.22 MJ/kg。

② DM基础上，3种羽毛粉TAA含量都在80%以上，但不同羽毛粉氨基酸含量差异较大。

③ 在7周龄肉鸭上，羽毛粉Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的TAA表观可代谢率分别为81.51%、73.07%和76.85%，TAA真可代谢率分别为85.09%、76.89%和80.43%。3种羽毛粉的表观可利用氨基酸和真可利用氨基酸含量也存在明显差异。

表 5 羽毛粉的氨基酸表观代谢率和表观可利用氨基酸(DM 基础)

Table 5 The apparent amino acid metabolic rate and apparent available amino acid of feather meal （DM basis） %

项目 Items	表观代谢率 Apparent metabolic rate			表观可利用氨基酸 Apparent available amino acid		
	羽毛粉 I Feather meal Ⅰ	羽毛粉 II Feather meal Ⅱ	羽毛粉III Feather meal Ⅲ	羽毛粉 I Feather meal Ⅰ	羽毛粉 II Feather meal Ⅱ	羽毛粉III Feather meal Ⅲ
天门冬氨酸 Asp	72.57±1.90^{Aa}	64.34±2.07^{Cc}	67.96±1.86^{Bb}	4.80±0.13^{Aa}	3.58±0.14^{Bc}	3.79±0.12^{Bb}
酪氨酸 Tyr	80.50±1.18^{Aa}	71.98±1.29^{Cc}	75.78±1.33^{Bb}	3.97±0.06^{Aa}	1.99±0.06^{Bb}	1.63±0.07^{Bc}
丝氨酸 Ser	85.84±1.15^{Aa}	77.61±1.37^{Cc}	81.23±1.09^{Bb}	8.12±0.11^{Bb}	7.77±0.13^{Cc}	8.87±0.10^{Aa}
谷氨酸 Glu	81.92±1.16^{Aa}	73.69±1.40^{Cc}	77.33±1.12^{Bb}	8.21±0.12^{Aa}	6.79±0.14^{Cc}	7.18±0.11^{Bb}
甘氨酸 Gly	84.99±1.05^{Aa}	76.76±1.35^{Cc}	80.27±1.06^{Bb}	7.00±0.09^{Aa}	5.73±0.11^{Bb}	5.64±0.09^{Bb}
丙氨酸 Ala	83.90±1.18^{Aa}	75.68±1.44^{Cc}	79.29±1.13^{Bb}	3.54±0.05^{Aa}	3.12±0.06^{Bb}	3.11±0.05^{Bb}

脯氨酸 Pro	$80.32±1.52^{Aa}$	$72.02±1.91^{Cc}$	$74.48±1.14^{Bb}$	$6.13±0.12^{Bb}$	$5.37±0.15^{Cc}$	$6.23±0.09^{Aa}$
胱氨酸 Cys	$74.20±1.18^{Aa}$	$65.81±1.30^{Cc}$	$69.32±1.21^{Bb}$	$2.17±0.03^{Aa}$	$1.36±0.04^{Cc}$	$1.85±0.04^{Bb}$
缬氨酸 Val	$80.40±1.16^{Aa}$	$71.84±1.20^{Cc}$	$75.51±1.18^{Bb}$	$4.35±0.06^{Ab}$	$3.89±0.07^{Bc}$	$4.39±0.18^{Aa}$
蛋氨酸 Met	$81.10±1.17^{Aa}$	$72.35±2.77^{Bc}$	$76.22±1.21^{Bb}$	$0.65±0.01^{Aa}$	$0.42±0.02^{Bb}$	$0.19±0.01^{Cc}$
异亮氨酸 Ile	$83.69±1.19^{Aa}$	$72.63±1.59^{Cc}$	$78.75±1.17^{Bb}$	$3.06±0.04^{Bb}$	$2.79±0.06^{Cc}$	$3.25±0.04^{Aa}$
亮氨酸 Leu	$88.24±1.25^{Aa}$	$77.77±1.33^{Cc}$	$85.00±1.28^{Bb}$	$6.91±0.10^{Aa}$	$5.75±0.10^{Cc}$	$6.33±0.10^{Bb}$
苯丙氨酸 Phe	$83.30±1.16^{Aa}$	$74.86±1.22^{Cc}$	$81.08±1.15^{Bb}$	$3.42±0.05^{Aa}$	$2.96±0.05^{Bb}$	$3.33±0.05^{Aa}$
赖氨酸 Lys	$82.13±1.19^{Aa}$	$74.20±1.86^{Cc}$	$79.43±1.16^{Bb}$	$1.68±0.02^{Aa}$	$1.08±0.04^{Bb}$	$0.90±0.07^{Bc}$
苏氨酸 Thr	$78.03±1.13^{Aa}$	$69.81±1.36^{Cc}$	$73.42±1.07^{Bb}$	$3.20±0.05^{Aa}$	$2.73±0.06^{Cc}$	$2.99±0.04^{Bb}$
组氨酸 His	$79.40±1.18^{Aa}$	$71.03±1.86^{Cc}$	$74.69±1.28^{Bb}$	$0.63±0.01^{Aa}$	$0.42±0.01^{Bb}$	$0.35±0.01^{Cc}$
精氨酸 Arg	$85.48±1.21^{Aa}$	$76.53±1.59^{Cc}$	$80.38±1.15^{Bb}$	$5.05±0.07^{Aa}$	$4.42±0.09^{Bc}$	$4.86±0.17^{Ab}$
总必需氨基酸 TEAA	$81.60±1.15^{Aa}$	$72.98±1.42^{Cc}$	$77.40±1.07^{Bb}$	$3.22±0.04^{Aa}$	$2.72±0.05^{Cc}$	$2.95±0.11^{Bb}$
总氨基酸 TAA	$81.51±1.08^{Aa}$	$73.07±1.29^{Cc}$	$76.85±0.99^{Bb}$	$4.36±0.06^{Aa}$	$3.59±0.07^{Cc}$	$3.97±0.06^{Bb}$

3 表 6 羽毛粉氨基酸真代谢率和真可利用氨基酸(DM 基础)

4 Table 6 The true amino acid metabolic rate and true available amino acid of feather meal（ DM basis） %

项目 Items	真代谢率 True metabolic rate			真可利用氨基酸含量 True available amino acid		
	羽毛粉Ⅰ Feather meal Ⅰ	羽毛粉Ⅱ Feather meal Ⅱ	羽毛粉Ⅲ Feather meal Ⅲ	羽毛粉Ⅰ Feather meal Ⅰ	羽毛粉Ⅱ Feather meal Ⅱ	羽毛粉Ⅲ Feather meal Ⅲ
天门冬氨酸 Asp	76.72±1.90^{Aa}	68.49±2.07^{Cc}	72.11±1.86^{Bb}	5.08±0.13^{Aa}	3.81±0.14^{Bc}	4.02±0.12^{Bb}
酪氨酸 Tyr	83.60±1.18^{Aa}	75.08±1.29^{Cc}	78.88±1.33^{Bb}	4.13±0.06^{Aa}	2.07±0.06^{Bb}	1.70±0.07^{Bb}
丝氨酸 Ser	89.62±1.15^{Aa}	81.39±1.37^{Cc}	85.01±1.09^{Bb}	8.48±0.11^{Bb}	8.15±0.13^{Cc}	9.28±0.10^{Aa}
谷氨酸 Glu	84.70±1.16^{Aa}	76.47±1.40^{Cc}	80.11±1.12^{Bb}	8.49±0.12^{Aa}	7.05±0.14^{Cc}	7.43±0.11^{Bb}
甘氨酸 Gly	89.09±1.05^{Aa}	80.86±1.35^{Cc}	84.37±1.06^{Bb}	7.34±0.09^{Aa}	6.03±0.11^{Bb}	5.93±0.09^{Bb}
丙氨酸 Ala	86.60±1.18^{Aa}	78.38±1.44^{Cc}	81.99±1.13^{Bb}	3.65±0.05^{Aa}	3.23±0.06^{Bb}	3.22±0.05^{Bb}

脯氨酸 Pro	85.72±1.52^{Aa}	77.42±1.91^{Cc}	75.62±1.14^{Bb}	6.54±0.12^{Bb}	5.77±0.15^{Cc}	6.69±0.09^{Aa}
胱氨酸 Cys	80.50±1.18^{Aa}	72.11±1.30^{Cc}	80.32±1.21^{Bb}	2.36±0.03^{Aa}	1.49±0.04^{Cc}	2.02±0.04^{Bb}
缬氨酸 Val	84.70±1.16^{Aa}	76.14±1.20^{Cc}	79.81±1.18^{Bb}	4.58±0.06^{Aa}	4.12±0.07^{Bb}	3.34±0.18^{Cc}
蛋氨酸 Met	83.40±1.17^{Aa}	74.65±2.77^{Bc}	78.52±1.21^{Bb}	0.67±0.01^{Aa}	0.43±0.02^{Bb}	0.20±0.01^{Cc}
异亮氨酸 Ile	87.29±1.19^{Aa}	79.19±1.59^{Cc}	82.35±1.17^{Bb}	3.19±0.04^{Bb}	2.93±0.06^{Cc}	3.41±0.05^{Aa}
亮氨酸 Leu	89.94±1.25^{Aa}	79.47±1.33^{Cc}	88.30±1.28^{Bb}	7.04±0.10^{Aa}	5.88±0.10^{Cc}	6.46±0.10^{Bb}
苯丙氨酸 Phe	86.40±1.16^{Aa}	77.96±1.22^{Cc}	84.39±1.15^{Bb}	3.55±0.05^{Ab}	3.06±0.05^{Bc}	3.46±0.05^{Aa}
赖氨酸 Lys	85.23±1.19^{Aa}	77.30±1.86^{Cc}	82.53±1.16^{Bb}	1.75±0.02^{Aa}	1.04±0.04^{Bb}	0.94±0.07^{Bc}
苏氨酸 Thr	82.63±1.13^{Aa}	74.41±1.36^{Cc}	78.02±1.07^{Bb}	3.39±0.05^{Aa}	2.88±0.06^{Cc}	3.17±0.04^{Bb}
组氨酸 His	82.30±1.18^{Aa}	73.93±1.86^{Cc}	77.59±1.28^{Bb}	0.66±0.01^{Aa}	0.41±0.01^{Bb}	0.36±0.01^{Cc}
精氨酸 Arg	88.08±1.21^{Aa}	79.13±1.59^{Cc}	82.98±1.15^{Bb}	5.21±0.07^{Aa}	4.55±0.09^{Bb}	3.17±0.17^{Cc}
总必需氨基酸 TEAA	85.55±1.15^{Aa}	76.91±1.42^{Cc}	80.53±1.07^{Bb}	3.34±0.04^{Aa}	2.81±0.05^{Cc}	3.04±0.11^{Bb}
总氨基酸 TAA	85.09±1.09^{Aa}	76.89±1.29^{Cc}	80.43±0.99^{Bb}	4.53±0.06^{Aa}	3.99±0.07^{Cc}	4.22±0.06^{Bb}

5

参考文献：

[1] 李晓燕,喻洋,肖英平,等.酶解羽毛粉的体外蛋白质消化率及其在生长猪日粮中的应用效果[J].中国畜牧杂志,2012,48(15):33–36.

[2] SENKOYLU N,SAMLI H E,AKYUREK H,et al.Performance and egg characteristics of laying hens fed diets incorporated with poultry by-product and feather meals[J].The Journal of Applied Poultry Research,2005,14(3):542–547.

[3] VAN HEUGTEN E,VAN KEMPEN T A T G.Growth performance,carcass characteristics,nutrient digestibility and fecal odorous compounds in growing-finishing pigs fed diets containing hydrolyzed feather meal[J].Journal of Animal Science,2002,80(1):171–178.

[4] DIVAKALA K C,CHIBA L I,KAMALAKAR R B,et al.Amino acid supplementation of hydrolyzed feather meal diets for finisher pigs[J].Journal of Animal Science,2009,87(4):1270–1281.

[5] PEDERSEN M B,YU S,PLUMSTEAD P,et al.Comparison of four feed proteases for improvement of nutritive value of poultry feather meal[J].Journal of Animal Science,2012,90(Suppl 4):350–352.

[6] 沈银书,霍启光,齐广海,等.羽毛粉的氨基酸真消化率及其与体外理化指标间相关性的研究[J].畜牧兽医学报,2000,31(1):9–15.

[7] SIBBALD I R.A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs[J].Poultry Science,1976,55(1):303–308.

[8] 杜懿婷,高庆,杨玉峰,等.鸭 TME 法适宜条件确定的研究进展[J].饲料工业,2011,32(15):48–51.

[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,2006.

[10] 彭侃,罗其刚,叶元土,等.鱼粉生产过程中蛋白质、油脂安全质量变化的初步研究[J].动物营养学报,2015,27(8):2637–2648.

[11] 杨勇,解绶启,刘建康.鱼粉在水产饲料中的应用研究[J].水产学报,2004,28(5):573–578.

[12] HAN Y,PARSONS C M.Protein and amino acid of feather meals[J].Poultry Science,1991,70(4):812–822.

[13] BARBOUR G W,WERLING M,YERSIN A G,et al.The effect of enzyme predigestion on the nutritional quality of prepressed turkey feather meal[J].Poultry Science,2002,81(7):1032–1037.

[14] DALE N.True metabolizable energy of feather meal[J].Journal of Applied Poultry Research,1992,1(3):331–334.

[15] 蒋守群,林映才,丁发源,等.黄羽肉鸡饲料代谢能的研究[J].中国畜牧杂志,2002,38(5):26–27.

[16] AHMADI H,GOLIAN A,MOTTAGHITALAB M,et al.Prediction model for true metabolizable energy of feather meal and poultry offal meal using group method of data handling-type neural network[J].Poultry Science,2008,87(9):1909–1912.

[17] LATSHAW J D.Quality of feather meal as affected by feather processing conditions [J].Poultry Science,1990,69(6):953–958.

[18] LIU J K,WAIBEL P E,NOLL S L.Nutritional evaluation of blood meal and feather meal for turkeys[J].Poultry Science,1989,68(11):1513–1518.

[19] BANDEGAN A,KIARIE E,PAYNE R L,et al.Standardized ileal amino acid digestibility in dry-extruded expelled soybean meal,extruded canola seed-pea,feather meal,soybean meal,extruded canola seed-pea,feather meal,and poultry by-product meal for broiler chickens[J].Poultry Science,2010,89(12):2626–2633.

[20] 樊红平,侯水生,温少辉,等.鸡鸭对饲料氨基酸利用的比较研究[J].动物营养学报,2006,18(4):237–243.

[21] SULABO R C,CHIBA L I,ALMEIDA F N,et al.Amino acid and phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in hydrolyzed feather meal fed to growing pigs[J].Journal of Animal Science,2013,91(12):5829–5837.

Nutritional Values of Steamed and Enzymatic Hydrolysis Feather Meal and Availability of Energy and Amino Acid in Meat Ducks

LAI Anqiang[1, 2] DONG Guozhong[1*] SU Ning[2] SONG Daijun[1] TAO Li[2] LIU Hongwei[2] FU Xuemei[2] CHEN Jie[2]

（1. *College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing* 400716, *China; 2. Sichuan Giastar Group Co. Ltd., Chengdu* 610021, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate metabolic rate of energy and the nutritive value of amino acids of the three kinds of steamed and enzymatic hydrolysis feather meal by true metabolizable energy (TME) method, and to offer the theoretical foundation for application of feather meal. Three kinds of feather meal from 42-day-old duck feather meal (feather meal Ⅰ), 550-day-old Lohmann layer feather meal (feather meal Ⅱ) and 100-day-old yellow-feathered broiler feather meal (feather meal Ⅲ) were evaluated in this study. Twenty 42-day-old Cherry Valley ducks were randomly divided into 4 treatments with 5 replicates per treatment and 1 duck per replicate. One treatment was fasted treatment and other 3 treatment were fed with feather meal Ⅰ, feather meal Ⅱ and feather meal Ⅲ, respectively. The experiment lasted for 7 days. The results showed as follows: 1) basis on the dry matter, the gross energy were 21.31, 21.02 and 20.18 MJ/kg, respectively; the apparent

metabolizable energy were 13.71, 12.29 and 12.10 kJ/kg, respectively; the true metabolizable energy were 14.83, 13.42 and 13.22 MJ/kg, respectively. 2) The contents of crude protein basis on dry matter of the three kinds of feather meal were 91.05%, 87.31% and 91.06%, respectively. The total amino acid contents of three kinds of feather meal were all above 80%, significant differences were found in the contents of amino acid of three kinds feather meal. 3) The apparent metabolic rate of total amino acid were 81.51%, 73.07% and 76.85%, respectively; the true metabolic rate of total amino acid were 85.09%, 76.89% and 80.43%, respectively. Significant differences were also found in the contents of apparent and true available amino acids of the three kinds of feather meal （$P<0.05$）. It is concluded that evaluate the energy and the nutritive value of amino acid of the three kinds of feather meal by TME method find that there are significant differences of the metabolic energy, apparent and true available amino acids among three kinds of feather meal. The gross energy, metabolizable energy, crud protein and the metabolic rate of total amino acids of feather meal Ⅰ are higher than that of feather meal Ⅱ and Ⅲ.

Key words: feather meal; crude protein; metabolizable energy; amino acid[2]

*Corresponding author, professor, E-mail: gzdong@swu.edu.cn (责任编辑　武海龙)